

FOSFATOS EN AGUA DE DRENAJE AGRÍCOLA: CUENCA BAJA DEL RÍO SINALOA¹

Dr. Luis Carlos González Márquez^a

Dr. Ángel Trigueros Salmerón^b

M.I. Ivette Renée Hansen Rodríguez^a

Dr. Hugo B. Rodríguez Gallegos^b

Profesores Investigadores de la Universidad de Occidente

^aUnidad Guasave / ^bUnidad Los Mochis

Contacto: ivrenhr@gmail.com

Miguel Antonio Moreno Figueroa

Pasante de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Occidente, Unidad Guasave

RESUMEN

Uno de los principales problemas en cuencas hidrográficas del noroeste de México es el exceso de nitrógeno y fósforo que reciben de las descargas de aguas de sistemas de drenaje agrícola.

Para proponer e implementar estrategias de manejo y reducción de contaminantes en tales sistemas se estudió la variación espacial y temporal de la calidad del agua del dren colector El Burrión, en el Distrito de Riego 063 (DR 063). De noviembre de 2012 a julio de 2013 se evaluó la concentración de fosfatos ($\text{PO}_4\text{-P}$), fósforo total (P_T), oxígeno disuelto (OD), temperatura, conductividad eléctrica (CE) y pH en agua de drenaje agrícola, acuícola y municipal, en la cuenca baja del Río Sinaloa. $\text{PO}_4\text{-P}$ presentó concentraciones mayores a lo establecido en los criterios ecológicos de calidad del agua (CECA)², así como correlaciones positivas con la temperatura, y negativas con el OD. Los resultados indican que la concentración de $\text{PO}_4\text{-P}$ en el dren está regida por la descomposición de materia orgánica de agua residual municipal (ARM), y el gasto de agua en el dren. Los resultados presentados contribuyen a mejorar el entendimiento de cómo funcionan los sistemas de drenaje agrícola afectados por ARM en la cuenca baja del Río Sinaloa.

Palabras clave: Calidad del agua, aguas residuales municipales, DR063, fósforo, carga de contaminantes.

ABSTRACT

The excess of nitrogen and phosphorus from discharges of agricultural drainage systems is one of the main problems in watersheds of northwestern Mexico.

In order to propose and to implement management strategies and reduction of pollutants in such systems, the spatial and temporal variation of the water quality in the collector drain El Burrión, on the Irrigation District 063 (DR063) was studied. From November of 2012 to July 2013, the concentration of phosphates ($\text{PO}_4\text{-P}$), total phosphorus (P_T), dissolved oxygen (DO), temperature, electrical conductivity (EC) and pH in water from agricultural drainage, aquaculture and municipal discharges in the lower basin of the Sinaloa River were evaluated. Concentrations of $\text{PO}_4\text{-P}$ in water were higher than the established in the Ecological Criteria for Water Quality (CECA, in Spanish), and positive correlations with temperature, and negative with DO. The results indicate that the concentration of $\text{PO}_4\text{-P}$ in the drain is governed by the decomposition of organic matter of municipal wastewater (MWW), and the flow of water in the drain. The results presented are going to improve to a better understanding of how agricultural drainage systems operate affected by MWW, in the lower basin of the Río Sinaloa.

Key words: Water quality, municipal wastewater, DR063, phosphorous, pollution load.

¹Los autores agradecen al Ing. Napoleón Rivera y a los estudiantes de Ingeniería Ambiental: Luis Antonio Contreras, Nicolás Sañudo, Eduardo Bojórquez y Gerardo Llanes, por el apoyo brindado en los muestreos y la caracterización de muestras de agua. Al personal del DR 063 y al personal de los módulos de riego Bamoa y Las Milpas, por la disponibilidad mostrada al solicitarles información hidroagrícola y geográfica.

² Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación. México, 13 de diciembre de 1989.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas artificiales de drenaje agrícola son cuerpos de agua que remueven el exceso de agua del suelo, con el fin de mantener niveles propicios de agua y de sales en la zona radicular para favorecer la producción agrícola (Madramootoo *et al.*, 2007). Asimismo, estos sistemas colectan y transportan compuestos químicos aportados por fuentes puntuales (en un punto fijo o fácilmente identificable), y fuentes no puntuales de contaminación. En tales sistemas se han cuantificado compuestos como plaguicidas, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y metales pesados; compuestos comúnmente usados en zonas agrícolas para proteger y/o favorecer su producción (Wan *et al.*, 2006; Guo & Ma, 2011), así como microorganismos patógenos y surfactantes (Haack & Duris, 2008; Alfiya *et al.*, 2012). En agua de drenaje de zonas agrícolas es de esperarse que los principales compuestos detectados sean de ese mismo origen; sin embargo, no siempre es así, el aporte que hacen las fuentes puntuales puede ser más significativo que el de las fuentes no puntuales (Popova, 2000).

A medida que el agua dreña, el nitrógeno y fósforo pueden ser transportados aguas abajo por los sistemas de drenaje hasta alcanzar las zonas costeras. Los sistemas acuáticos tienen una capacidad natural de asimilarlos, así como de soportar hasta cierto grado la carga de los mismos (Bulc *et al.*, 2011); sin embargo, cuando una corriente de agua excede su capacidad asimilativa, se vuelve eutrófica. Sus residuos pueden promover el crecimiento de algas (Beman *et al.*, 2005), así como la disminución del OD producto de la descomposición microbiana de las mismas algas (Beman *et al.*, 2005; Boesch, 2008). La proliferación masiva de algas es una amenaza importante y creciente para la salud humana y para los recursos pesqueros (Anderson *et al.*, 2000; Ponce-Serrano, 2008). Anderson *et al.* (2000) realizaron un estimado muy conservativo del impacto económico ocasionado por la proliferación masiva de algas en cuerpos de agua de los E.U.A., reportando pérdidas anuales de 50 millones de dólares, en promedio. Para el sector de pesca comercial, reportaron pérdidas promedio de 18 millones de dólares.

En las aguas costeras y continentales que reciben descargas de aguas de drenaje agrícola, uno de los principales problemas es el exceso de nitrógeno y fósforo, (Páez Osuna *et al.*, 2007; Martínez-López, *et al.*, 2008; Hansen *et al.*, 2008). Páez Osuna *et al.* (2007) estimaron su presencia -por actividades agrícolas, pecuarias, acuícolas y por poblaciones humanas- en cuencas hidrográficas del noroeste de México, encontrando que las emisiones antropogénicas de estos compuestos son mayores a las emisiones naturales y, que la agricultura y la ganadería son las prin-

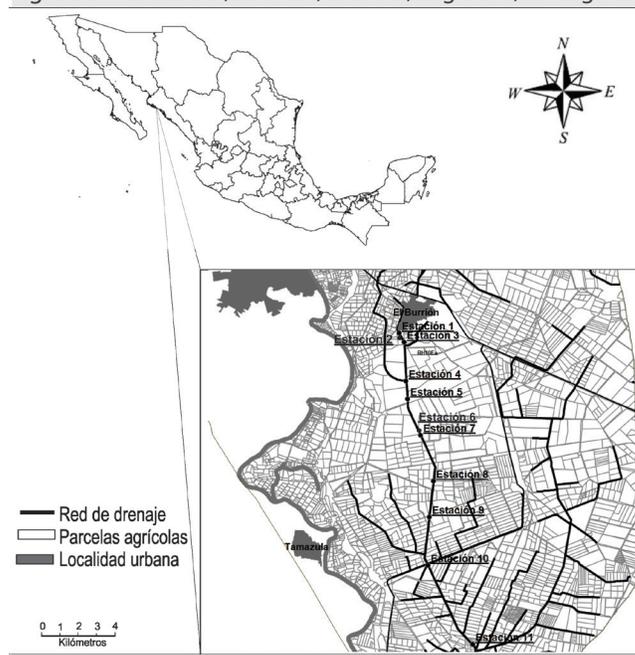
cipales fuentes.

Para poder proponer e implementar estrategias de manejo y reducción de contaminantes en sistemas de drenaje agrícola, es fundamental conocer su calidad de agua y su variación espacial y temporal; así como la contribución de tales sistemas en el aporte de contaminantes a los cuerpos de agua receptores. En este trabajo se estudia la variación espacial y temporal de la calidad del agua del dren colector El Burrión, en el Distrito de Riego 063 (DR 063). El DR 063 es uno de los siete distritos de riego de México donde se siembran más de 100 000 hectáreas por año agrícola y el tercer mayor productor de Maíz de Grano (CONAGUA, 2011).

MATERIALES Y MÉTODO

Área de estudio. El dren colector El Burrión se ubica en el municipio de Guasave, Sinaloa, en los módulos Las Milpas y Bamoa pertenecientes al DR 063, en la parte baja de la subcuenca RH10Ea de la cuenca del Río Sinaloa (figura 1). La longitud total del dren es de aproximadamente 38.7 km. El dren tiene su origen en el módulo de riego Bamoa, cruza el módulo Las Milpas y descarga sus aguas en el estero Playa Colorada, en el Golfo de California. El ancho promedio del dren es de 10 m y presenta una alta densidad de vegetación acuática, principalmente de Tule (*Typha domingensis*). A lo largo de su trayectoria, en el dren se descargan aguas residuales municipales sin tratamiento, descargas puntuales y no puntuales agrícolas.

Figura 1. © González, Moreno, Hansen, Trigueros, Rodríguez



Ubicación del área de estudio y de estaciones de muestreo

El uso de suelo en el área de influencia del dren es principalmente agrícola, los principales cultivos son: maíz, frijol, sorgo, garbanzo y trigo. Los ciclos agrícolas, primavera-verano y otoño-invierno, van de finales de septiembre a junio. Desde el punto de vista granulométrico los principales suelos son de tipo limo-arcilloso (González-Márquez & Hansen, 2009). En el municipio de Guasave prevalecen tres tipos de clima: el muy seco, muy cálido y cálido (CONAE, 2013). La temperatura media registrada es de 23.9°C, históricamente ha fluctuado de -1.0°C a 45.0°C (Palafox-Ávila, 2006). La época con mayor precipitación es entre agosto y septiembre, con una precipitación media anual de 407.5 mm (Ortiz-Arellano, 2005). La evaporación total promedio anual es de 2200 mm (Palafox Ávila, 2006).

Muestreo y caracterización del agua. En el periodo de noviembre de 2012 a julio de 2013, una vez por mes, se colectaron muestras de agua en 11 estaciones. Las estaciones de muestreo, así como el número de muestras, se eligieron en base al número de descargas identificables, con el fin de evaluar la influencia de descargas puntuales y no puntuales en la calidad del agua del dren colector El Burrión: 7 estaciones de muestreo se ubicaron sobre el dren colector El Burrión, 3 sobre descargas de aguas residuales (1 descarga acuícola, 1 de aguas residuales municipales sin tratamiento y 1 de agua agrícola subsuperficial) y 1 estación sobre un dren agrícola afluente del dren colector El Burrión (tabla 1). La descarga de aguas residuales sin tratamiento es agua generada en la localidad de El Burrión, Guasave, Sinaloa, que en el año 2010 contaba con una población de 3,942 habitantes (INEGI, 2013).

La temperatura, CE, OD y pH del agua, fueron medidos

en campo con una sonda multiparamétrica (marca YSI, modelo Professional Plus). El gasto de agua en el dren fue calculado a partir de la medición de la velocidad del agua, evaluada con un medidor electromagnético portátil (marca HACH, modelo FH950), el ancho del espejo de agua y el tirante de agua. A lo ancho del dren se tomaron de una a cinco mediciones de la velocidad del agua, dependiendo de las características del área transversal del flujo.

Se empleó un equipo de muestreo manual de agua, que consistió en un tubo de pvc de 2" de diámetro y 2 m de longitud, así como de un recipiente de plástico de 0.5 L; 100 mililitros de agua se filtraron a través de membranas de nylon de 0.45 µm; el agua, filtrada y sin filtrar, se almacenó en recipientes de plástico. Previo a cada evento de muestreo los recipientes fueron lavados con una solución ácida con 1:1 ácido clorhídrico (grado analítico) y enjuagados con agua MilliQ® (MilliQ-Plus; resistividad > 18 MΩ cm). Las muestras de agua fueron almacenadas con hielo y transportadas al Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Occidente, Unidad Guasave. En las muestras de agua filtradas se analizó PO₄-P, antes de 24 horas de la toma de la muestra, acorde al método de reducción en ácido ascórbico TNTplus® 843 (Hach 2012). Las muestras de agua sin filtrar se acidificaron a pH < 2, usando H₂SO₄ concentrado (grado analítico) y se refrigeraron a 4°C hasta su análisis. En las muestras sin filtrar se analizó P_T acorde al método TNTplus® 843 (Hach, 2012). Para el análisis de PO₄-P y PT se utilizó un espectrofotómetro (Marca Hach, modelo DR 3900) y un reactor digital para la digestión de muestras donde se analizaría P_T (Marca Hach, modelo DRB 200). Las muestras fueron analizadas por duplicado.

Tabla 1. Ubicación, tipo y distancia entre las estaciones de muestreo

Estación de muestreo	Tipo	Latitud (grados)	Longitud (grados)	Distancia (km)
1	Descarga acuícola	25.53301400	-108.41673800	0.00
2	Dren agrícola colector	25.53255556	-108.41650000	0.23
3	Descarga municipal	25.52925000	-108.41463890	0.41
4	Dren agrícola secundario	25.51358333	-108.41394440	1.74
5	Descarga agrícola subsuperficial	25.50625500	-108.41324300	0.81
6	Dren agrícola colector	25.50441667	-108.41325000	0.16
7	Dren agrícola colector	25.49150800	-108.40802300	1.57
8	Dren agrícola colector	25.47280556	-108.40277780	2.18
9	Dren agrícola colector	25.45819444	-108.40444440	1.64
10	Dren agrícola colector	25.43855556	-108.40488890	2.22
11	Dren agrícola colector	25.40644444	-108.38686110	4.03

Estimación de la carga de fósforo. La estimación de la carga de fósforo de fosfatos se realizó a través del producto de la concentración de $PO_4\text{-P}$ y el gasto de agua, medidos en agua de las diferentes estaciones de muestreo (ec. 1).

$$Carga = k \int_{t_0}^t C(t)q(t)dt$$

Donde k es una constante para la conversión de unidades, y t es el tiempo, $C(t)$ es la concentración a tiempo t y $q(t)$ es el gasto de agua a tiempo t .

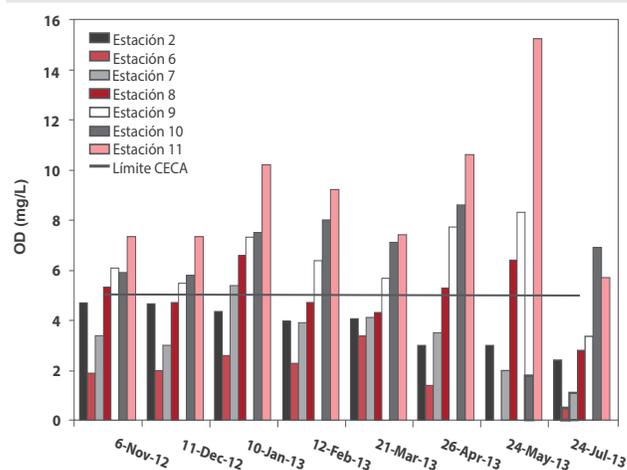
Análisis estadístico. Se evaluó la relación entre el fósforo y parámetros físicos y químicos del agua del dren colector El Burrión, a través del método de correlación lineal de Pearson (Berthouex & Brown, 2002). Se consideró que los parámetros están relacionados cuando el nivel de significancia fue menor que 0.05 ($P < 0.05$). Las diferencias entre parámetros fueron evaluadas estadísticamente a través de la prueba t de Student, con un nivel de significancia de 5 %.

RESULTADOS

Los valores promedio y desviaciones estándar de los parámetros físicos y químicos medidos en agua de las 11 estaciones de muestreo, obtenidos en distintos tiempos, se presentan en la tabla 2. El pH promedio del agua varió entre 8.0 y 8.9, presentándose una tendencia de incremento hacia aguas abajo del dren colector, valores que se encuentran en el rango de pH reportado por Peinado-Guevara *et al.* (2011) para agua subterránea de pozos someros en la zona de estudio, quienes indican

que los materiales del acuífero juegan un rol importante en la composición química de las aguas subterráneas. La CE promedio en el agua de todas las estaciones de muestreo fue mayor a $700 \mu\text{s/cm}$: en 8 estaciones se presentaron valores promedio entre $700 \mu\text{s/cm}$ y $3000 \mu\text{s/cm}$ y en 3 estaciones se presentaron valores de $CE > 3000 \mu\text{s/cm}$. La clasificación de la calidad del agua para riego según la FAO (Ayers y Westcot, 1985) no especifica grado de restricción en el uso de agua para $CE < 700 \mu\text{s/cm}$, restricción de uso ligera o moderada para $700 \mu\text{s/cm} < CE < 3000 \mu\text{s/cm}$ y grado severo para $CE > 3000 \mu\text{s/cm}$. La estación 5, descarga de agua agrícola subsuperficial, presentó la CE más

Figura 2. © González, Moreno, Hansen, Trigueros, Rodríguez



Variación espacial y temporal de OD en agua del dren colector El Burrión

Tabla 2. Parámetros promedio de calidad del agua en las estaciones de muestreo

Estación de muestreo	n*	T (°C)	OD (mg/L)	CE ($\mu\text{s/cm}$)	pH	$PO_4\text{-P}$ (mg/L)
1	3	23.5 ± 4.8	5.5 ± 1.0	4168.7 ± 120.4	8.0 ± 0.3	0.22
2	8	21.2 ± 4.0	3.8 ± 0.9	2601.1 ± 713.2	8.0 ± 0.2	0.21
3	5	25.5 ± 2.6	0.4 ± 0.2	2860.8 ± 617.7	8.1 ± 0.1	4.00
4	6	19.9 ± 2.8	8.6 ± 3.3	1809.2 ± 456.5	8.8 ± 0.2	0.23
5	3	20.1 ± 3.0	6.6 ± 1.1	965.7 ± 751.7	8.9 ± 0.4	0.03
6	7	21.1 ± 3.8	2.0 ± 0.9	2388.3 ± 843.2	8.3 ± 0.1	0.49
7	8	21.6 ± 3.5	3.3 ± 1.3	2391.5 ± 632.7	8.3 ± 0.2	0.56
8	8	21.7 ± 4.1	5.0 ± 1.2	2453.6 ± 511.5	8.5 ± 0.1	0.50
9	8	22.2 ± 3.9	6.3 ± 1.5	2855.6 ± 655.1	8.3 ± 0.7	0.45
10	8	23.3 ± 4.4	6.5 ± 2.1	4168.1 ± 1077.8	8.5 ± 0.2	0.41
11	8	24.6 ± 5.1	9.1 ± 3.0	5709.1 ± 1602.4	8.7 ± 0.2	0.30

*n, número de muestras analizadas.

© González/Moreno/Hansen/ Rodríguez/Trigueros. Ciencia desde el Occidente, Vol. 1, Núm. 2

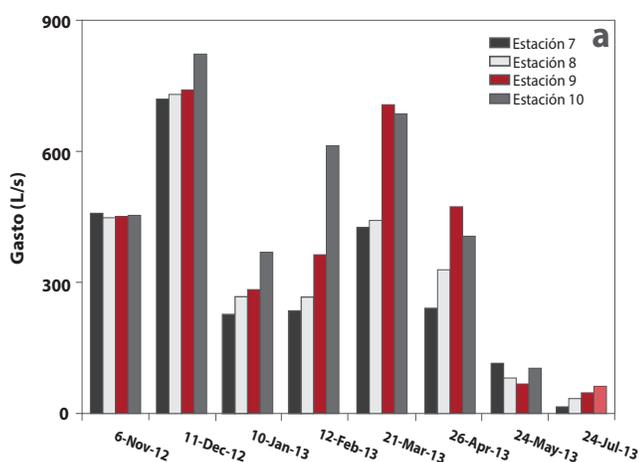
baja, 965.7 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ($\pm 751.7 \text{ mg}/\text{L}$); mientras que el agua de la estación 11 fue la que presentó la mayor CE, 5709.1 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ($\pm 1602.4 \text{ mg}/\text{L}$). La concentración promedio del OD en agua varió entre 0.4 mg/L y 9.1 mg/L; descarga de ARM (estación 3) y agua del dren colector El Burrión (estación 11), respectivamente. Las estaciones 2, 3, 6 y 7 presentaron concentraciones promedio de OD menores a 5 mg/L, nivel mínimo recomendado para la protección de la vida acuática en agua dulce (DOF, 1989). En la figura 2 se puede observar la variación espacial y temporal de OD en agua del dren colector El Burrión.

El gasto de agua en las estaciones 7, 8, 9 y 10 del dren colector El Burrión fue variado, y mantuvo una tendencia

de incremento en cada estación durante el periodo de tiempo evaluado (figura 3a); así como una relación significativa ($P < 0.05$) con el volumen de agua utilizado para riego en los módulos Bamao y Las Milpas (figura 3b). Durante la realización del estudio no se presentaron lluvias, por lo que el origen del agua en el dren fue agua infiltrada de riego agrícola y descargas de aguas residuales municipales.

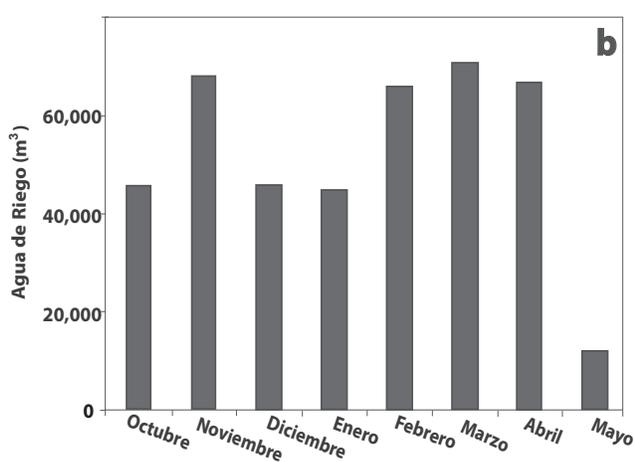
La concentración de $\text{PO}_4\text{-P}$ en las muestras de agua del dren colector El Burrión variaron entre 0.08 mg/L y 1.89 mg/L (figura 4a), estaciones de muestreo 2 y 7, respectivamente. Con excepción de la muestra de agua de la estación 2, en el mes de mayo, todas las muestras de agua presentaron concentraciones de $\text{PO}_4\text{-P}$ mayores a 0.1 mg/L,

Figura 3a. © González, Moreno, Hansen, Trigueros, Rodríguez



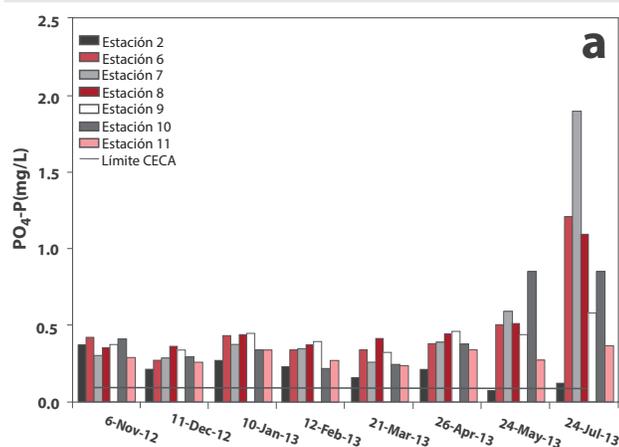
Gasto de agua en el dren colector El Burrión

Figura 3b. © González, Moreno, Hansen, Trigueros, Rodríguez



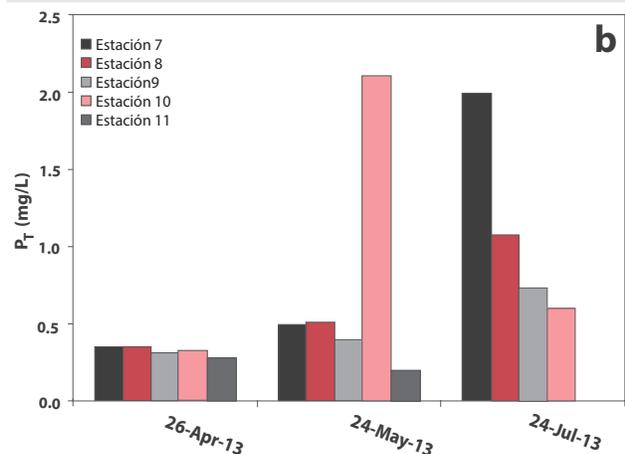
Volumen de agua utilizada para riego agrícola en los módulos Bamao y Las Milpas

Figura 4a. © González, Moreno, Hansen, Trigueros, Rodríguez



Variación espacial y temporal de $\text{PO}_4\text{-P}$

Figura 4b. © González, Moreno, Hansen, Trigueros, Rodríguez



P_T en agua del dren colector El Burrión

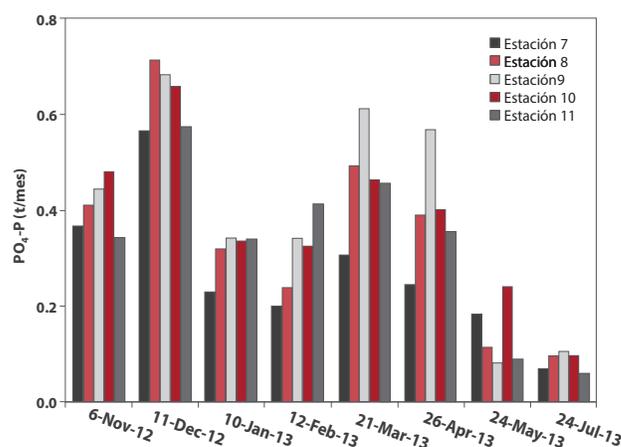
nivel máximo recomendado en los CECA para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables (algas y plantas acuáticas) y para controlar la eutroficación acelerada de ríos y arroyos (DOF, 1989). Durante los meses de abril, mayo y julio se analizó P_T en las estaciones de muestreo 7, 8, 9, 10 y 11 (figura 4b), no se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) en las muestras analizadas al comparar las concentraciones de PO_4-P y P_T ; indicando que el fósforo en agua del dren colector El Burrión se encuentra principalmente en forma de fosfatos. La carga más alta de PO_4-P estimada en el dren colector El Burrión fue de 0.71 t y se presentó durante el mes de diciembre, mientras que la menor carga fue de 0.06 t en el mes de julio.

Los resultados del análisis de correlación de Pearson entre fósforo y parámetros físicos y químicos del agua del dren colector El Burrión se presentan en la tabla 3. En la región sombreada se muestran los niveles de significancia entre los parámetros comparados, mientras que en la no sombreada se presentan los coeficientes de correlación. Los coeficientes de correlación para niveles de significancia menores que 0.05 ($P < 0.05$) se muestran en celdas negras con letras blancas. La concentración de P_T y PO_4-P presentaron correlaciones significativas y negativas con OD, indicando que la disminución del OD favorece el aumento de la concentración de fósforo en agua. El pH presentó correlación negativa con la carga de PO_4-P y correlación positiva con la temperatura. Entre los parámetros relacionados, la relación más fuerte se presentó entre la carga de PO_4-P y el gasto de agua en el dren colector El Burrión, con una correlación positiva entre ambos pa-

rámetros; indicando que, a medida que aumenta el gasto, se presenta un aumento en la masa de PO_4-P en agua del dren. En las estaciones 7, 8, 9, 10 y 11 se realizó análisis de regresión lineal simple entre el gasto de agua en el dren colector El Burrión y la carga de PO_4-P (figura 5).

Los resultados indican que existe relación entre el gasto y la carga de PO_4-P , con valores de r^2 mayores a 0.95 en las estaciones 7, 8, 9 y 11, se observa que en esas estaciones, al medir el gasto podrían realizarse estimaciones confiables ($P < 0.05$) de la carga de PO_4-P usando las ecuaciones de las relaciones presentadas en la figura 6.

Figura 5. © González, Moreno, Hansen, Trigueros, Rodríguez



Carga de PO_4-P en agua del dren colector El Burrión

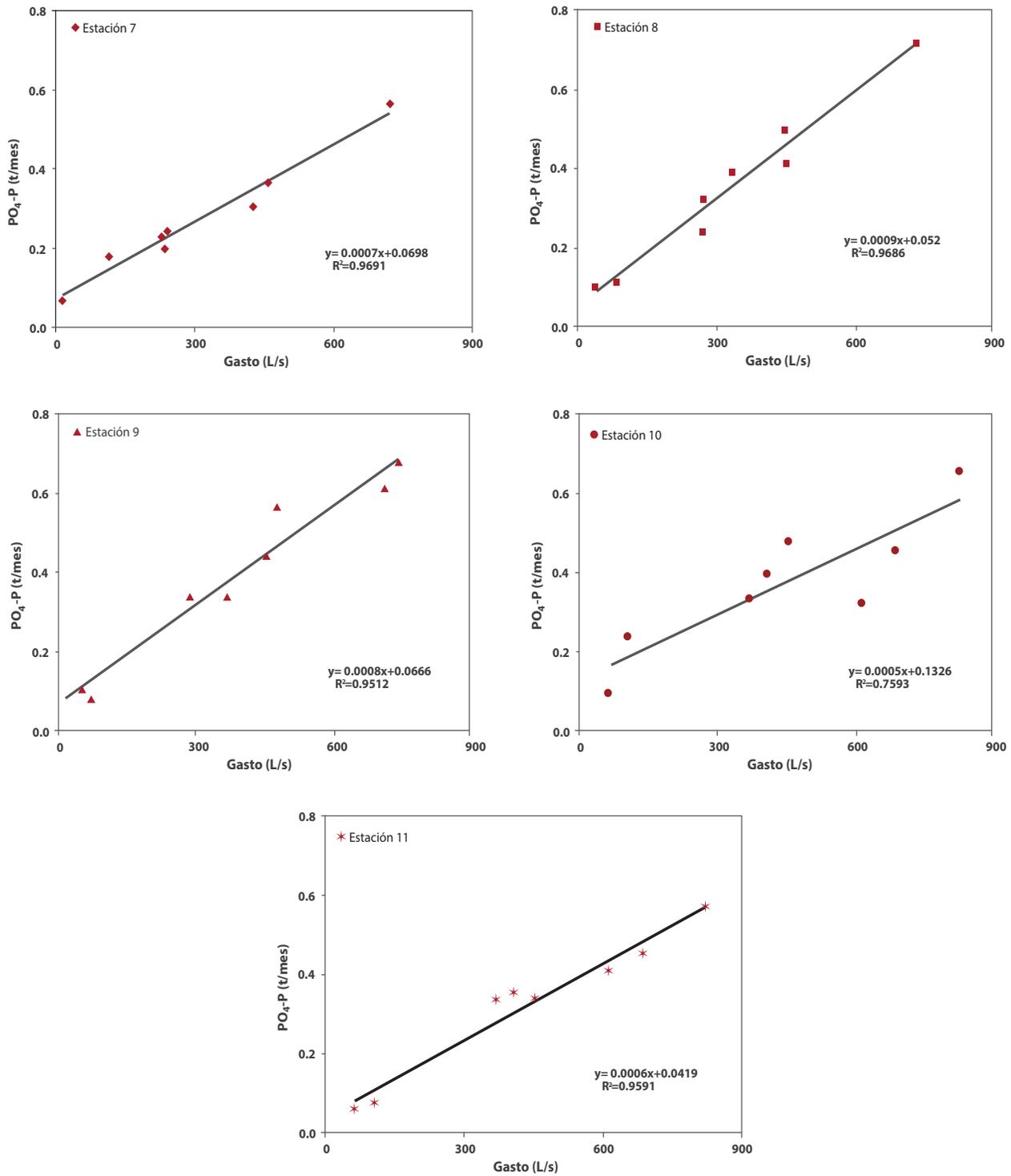
Tabla 3. Correlación entre parámetros físicos y químicos del agua del dren colector El Burrión

Parámetro	T	OD	CE	pH	P_T	PO_4-P	Gasto	Carga de PO_4-P
T		0.86	0.00	0.54	0.28	0.04	0.06	0.09
OD	0.0		0.00	0.02	0.01	0.00	0.49	0.39
CE	0.4	0.6		0.00	0.47	0.57	0.45	0.57
pH	0.1	0.3	0.5		0.80	0.96	0.16	0.04
P_T	0.3	-0.6	0.2	0.1		0.00	0.06	0.27
PO_4-P	0.4	-0.4	0.1	0.1	0.8		0.02	0.06
Gasto	-0.5	0.2	-0.4	-0.1	-0.5	-0.5		0.00
Carga de PO_4-P	-0.3	0.2	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4	0.09	

T: Temperatura; OD: Oxígeno disuelto; CE.: Conductividad eléctrica específica.

© González/Moreno/Hansen/ Rodríguez/Trigueros Ciencia desde el Occidente, Vol. 1, Núm. 2

Figura 6. © González, Moreno, Hansen, Trigueros, Rodríguez



Relación entre carga de $PO_4\text{-P}$ y gasto de agua en el dren colector El Burrión

DISCUSIÓN

En agua del dren colector El Burrión se evaluaron concentraciones de $\text{PO}_4\text{-P}$ mayores a lo establecido en los CECA y concentraciones de OD menores a lo establecido en tales criterios. En la figura 2 se puede observar que durante el periodo de estudio, la concentración de OD en la estación 2 presenta una tendencia a disminuir con el paso del tiempo, presentándose mayores concentraciones en los meses más fríos y menores en los más calientes; el agua fría tiene más capacidad de disolver OD que el agua caliente (Water on the web, 2009). En la estación 6 se observa una disminución en la concentración de OD respecto a la estación 2, debido a que entre tales estaciones se descarga ARM sin tratamiento de la localidad El Burrión (estación 3); descarga que aporta de manera continua materia orgánica al dren colector El Burrión y que afecta su calidad (tabla 1). Es hasta la estación 8 (7.1 km aguas abajo de la estación 3) donde el OD vuelve a tener concentraciones similares o mayores a las evaluadas en la estación 2. Con excepción de los meses de mayo y julio, donde en las estaciones 10 y 11 se presentaron valores de OD atípicos, se observó una tendencia en la variación espacial y temporal de OD en agua del dren colector El Burrión. En el mes de mayo, en la estación 10, el agua presentaba una coloración amarillosa ocasionada por una sustancia extraña de color amarillo que era vertida de recipientes ubicados en un dren tributario aguas arriba del sitio de muestreo; mientras que en la estación 11, en el mes de julio se detectó la presencia de ganado vacuno dentro del dren lo que ocasionó la resuspensión de sedimentos. Tales eventos ocasionaron que la concentración de OD en el agua disminuyera. No fue posible identificar químicamente la sustancia que ocasionó la coloración amarilla en el agua. Sin embargo, trabajadores agrícolas mencionaron que en el área de influencia de la estación 10 los agricultores aplican vitaminas a los cultivos que cambia la coloración del agua.

La CE en agua de todas las estaciones de muestreo presenta un incremento en el tiempo y en el espacio (hacia aguas abajo del dren colector). La presencia de sistemas de bombeo portátiles, sobre el dren colector El Burrión, indica que el agua se utiliza para riego agrícola, acorde a la clasificación de calidad del agua para riego de la FAO (Ayers y Westcot, 1985); el uso de agua del dren colector El Burrión puede representar un riesgo para los suelos y los cultivos de la región, ya que la CE del agua fue generalmente $> 700 \mu\text{s}/\text{cm}$.

Los resultados de $\text{PO}_4\text{-P}$ se compararon con los CECA, dado que en México no se cuenta con criterios o normas específicas para la protección de la calidad del agua en

drenes agrícolas. En el mes de diciembre se presentó la menor concentración promedio de $\text{PO}_4\text{-P}$ en el dren colector El Burrión, mientras que la mayor concentración promedio se presentó en el mes de julio; coincidiendo con el mayor y menor gasto en el dren, respectivamente. Silva-Mendizabal (2010) evaluó el efecto de la agricultura y de asentamientos urbanos en la calidad del agua que se descarga en la Bahía del Tobarí, al sur del estado de Sonora; reportando concentraciones de fosfatos en agua de drenes agrícolas en el rango de 0.09 mg/L a 3.48 mg/L, e indicando que la concentración más baja se presentó en el mes de noviembre y la más alta en el mes de junio de 2009; así como que la concentración más alta de fosfatos se presentó en agua de un dren que recibe aguas residuales de Ciudad Obregón. El rango de concentraciones de fosfatos reportado por Silva-Mendizabal (2010) es ligeramente inferior al reportado en este estudio. Sin embargo, ambos estudios coinciden en que las fuentes puntuales rigen la concentración de $\text{PO}_4\text{-P}$ en el agua de drenaje en temporada de estiaje. La carga de $\text{PO}_4\text{-P}$ presentó un comportamiento inverso, mayor en el mes de diciembre y menor en el mes de julio.

P_T y $\text{PO}_4\text{-P}$ presentaron correlaciones significativas y negativas con OD, indicando que al disminuir el OD del agua se incrementa la concentración de fósforo, lo que podría deberse a la disolución reductiva del $\text{PO}_4\text{-P}$ adsorbido a óxidos metálicos o a la descomposición de la materia orgánica (Hupfer y Lewandowski, 2008). Por la tendencia que presenta la concentración de $\text{PO}_4\text{-P}$ en todas las estaciones de muestreo sobre el dren colector, de aumento después de la estación 2 y disminución de la concentración a partir de las estaciones 7 y 8, se puede asumir que la variación en la concentración de $\text{PO}_4\text{-P}$ está controlada por la descomposición de la materia orgánica que aporta la descarga de ARM en la estación 3. El pH presentó correlación negativa con la carga de $\text{PO}_4\text{-P}$, indicando que la disminución del pH favorece el aumento de la masa de $\text{PO}_4\text{-P}$ en el agua. Los procesos de respiración microbiana y de descomposición de materia orgánica reducen el pH del agua, producto de la generación de CO_2 , que se disuelve en el agua como ácido carbónico y ocasiona la disminución del pH (Water on the web, 2009), en tanto que la concentración de $\text{PO}_4\text{-P}$ y la temperatura presentaron correlación positiva; relaciones que vienen a fortalecer la conjetura de que la presencia $\text{PO}_4\text{-P}$ en el agua del dren colector El Burrión está siendo controlada por la descomposición de materia orgánica que aporta la estación 3.

Este trabajo contribuye a mejorar el entendimiento de cómo varía espacial y temporalmente la concentración

de $\text{PO}_4\text{-P}$ en el dren colector El Burrión y a entender cómo influye la variación de parámetros físicos y químicos en tal variación; por lo que los resultados presentados pueden favorecer la formulación de estrategias de manejo y de remoción de fósforo de agua de los sistemas de drenaje agrícola en la cuenca baja del Río Sinaloa, afectados por la descarga de aguas residuales municipales.

CONCLUSIONES

El uso de agua del dren colector El Burrión, en la parte baja de la cuenca del Río Sinaloa, puede representar un riesgo para los suelos y los cultivos de la región, ya que acorde a la clasificación de calidad del agua para riego de la FAO, el agua del dren colector presenta restricción de uso ligera o moderada ($700 \mu\text{s/cm} < \text{CE} < 3000 \mu\text{s/cm}$) en

todas las estaciones de muestreo, con excepción de las estaciones 10 y 11 que presentan restricción de grado severo ($\text{CE} > 3000 \mu\text{s/cm}$).

Los resultados presentados indican que la concentración y la carga de $\text{PO}_4\text{-P}$ en agua del dren colector El Burrión están regidas principalmente por dos procesos: formación de $\text{PO}_4\text{-P}$ producto de la descomposición de la materia orgánica que aporta la descarga de ARM de la estación 3 y la variación del gasto de agua en el dren, así como que la concentración de fósforo en agua del dren colector El Burrión cambia constantemente de manera espacial y temporal; sin embargo, la forma en que se presenta fósforo en el agua del dren se mantiene constante ($\text{PO}_4\text{-P}$ disuelto).

REFERENCIAS

- Ayers, R.S. & Westcot, D.W. (1985). Water quality for agriculture. *FAO Irrigation and Drainage*, Paper 29 Rev.1, Roma, 174 p.
- Alfiya, Y., Damti, O., Stoler-Katz, A., Zoubi, A., Shavi, A. & Friedler, E. (2012). Potential impacts of on-site greywater reuse in landscape irrigation. *Water Science & Technology*, 65 (4), 757-64.
- Anderson, D.M., Hoagland, P., Kaoru, Y. & White, A.W. (2000). *Estimated Annual Economic Impacts from Harmful Algal Blooms (HABs) in the United States*. National Oceanic and Atmospheric Administration - National Science Foundation - Johnson Endowment of the Marine Policy Center. Disponible en línea en: http://www.doh.state.fl.us/environment/medicine/aquatic/pdfs/WHOI_RedTideEconomicsReport.pdf (Consultado el 1 de julio, 2013)
- Beman, M., Arrigo, K.R. & Matson, P.A. (2005). Agricultural runoff fuels large phytoplankton blooms in vulnerable areas of the ocean. *Nature*, 434, 211-214.
- Berthouex, P.M. & Brown, L.C. (2002). *Statistics for environmental engineers: United States of America*. (2a ed.). 489 pp. USA: Lewis Publishers.
- Boesch, D.F. (2008). Global warming and coastal dead zones. Disponible en línea en: http://www.umces.edu/sites/default/files/pdfs/db_WarmingDeadZones.pdf (consultado el 25 de agosto, 2013)
- Bulc, T.G., Klemenčič, A.K. & Razinger, J. (2011). Vegetated ditches for treatment of surface water with highly fluctuating water regime. *Water Science & Technology*, 63, 2353-2359.
- CONAE (2013). Guasave. Disponible en línea en: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/3701/5/Guasave.htm> (consultado el 20 de agosto, 2013)
- CONAGUA (2011). *Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Año agrícola 2009-2010*. Comisión Nacional del Agua. Disponible en línea en: <ftp://ftp.conagua.gob.mx/SISI1610100092412/Estadisticas%20de%20los%20Distritos%20de%20Riego/2009-2010/Estad%EDsticas%20Agr%EDcolas%20DR%202009-2010.pdf> (consultado el 15 de mayo, 2014)
- DOF (1989). Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación. México, 13 de diciembre de 1989.
- González-Márquez, L.C. & Hansen, A.M. (2009). Adsorción y mineralización de atrazina y relación con parámetros de suelos del DR 063 Guasave, Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 26, 587-599.
- Guo, L. & MA, K. (2011). Seasonal Dynamics of Nitrogen and Phosphorus in Water and Sediment of A Multi-level Ditch System in Sanjiang Plain, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 21, 437-445.
- Haack, S.K. & Duris, J.W. (2008). *Chemical and microbiological water quality of subsurface agricultural drains during a field trial of liquid dairy manure effluent application rate and varying tillage practices*, Upper Tiffin Watershed, southeastern Michigan: U.S. Geological Survey, Open-File Report 2008-1189, 38 p. Disponible en línea en: http://pubs.usgs.gov/of/2008/1189/pdf/ofr2008-1189_web.pdf (consultado el 10 de junio, 2013)
- Hach (2012). Phosphorus, Reactive (Orthophosphate) and Total (TNTplu® 843). Disponible en línea en: <http://www.hach.com/phosphorus-tntplus-lr-reactive-and>

- total/product?id=7640196815 (consultado el 4 de diciembre, 2012)
- Hansen, A.M., Hernández, A. & González, L.C. (2008). *Evaluación de la atenuación natural de Atrazina en agua y suelos*, Proyecto interno, TH-0803, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Hupfer, M. & Lewandowski, J. (2008). Oxygen Controls the Phosphorus Release from Lake Sediments - a Long-Lasting Paradigm in Limnology. *International Review of Hydrobiology*, 93, 415-432.
- INEGI (2013). Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE, Versión 05/2012). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en línea en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/consulta_resultados/scince2010.aspx (consultado el 12 de agosto, 2013)
- Madramootoo, C.A., Johnston, W.R., Ayars, J.E., Evans, R.O. & Fausey, N.R. (2007). Agricultural drainage management, quality and disposal issues in North America. *Irrigation and Drainage*, 56, S35-S45.
- Martínez-López, A., Escobedo-Urías, D.C., Ulloa-Pérez, A.E. & Aguirre, R. (2008). Dynamics of a *Prorocentrum* minimum bloom along the northern coast of Sinaloa, Mexico. *Continental Shelf Research*, 28, 1693-1701.
- Ortiz-Arellano, M. A. (2005). *Sistemática y ecología de la malacofauna de la zona intermareal de las islas de la bahía de Navachiste, Sinaloa, México*. Tesis de Maestría, CIIDIR-Sinaloa, Guasave, México.
- Páez-Osuna, F., Ramírez-Reséndiz, G., Ruiz-Fernández, A.C. & Soto-Jiménez, M.F. (2007). *La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Unidad Académica Mazatlán. 304 pp.
- Palafox-Ávila, G. (2006). *Riesgo Potencial a inundaciones en la ciudad de Guasave, Sinaloa, México*. Tesis de Maestría, CIIDIR-Sinaloa, Guasave, México.
- Peinado-Guevara, H.J., Green-Ruiz, C.R., Herrera-Barrientos, J., Escolero-Fuentes, O.A., Delgado-Rodríguez, O., Belmonte-Jiménez, S.I. & Ladrón de Guevara, M.A. (2011). Calidad y aptitud de uso agrícola y doméstico del agua del acuífero del río Sinaloa, porción costera. *Hidrobiológica*, 21, 63-76.
- Ponce-Serrano, S. (2008). La marea roja: una amenaza en el Mar de Cortés. *Revista Universidad de Sonora*. Número 20. Disponible en línea en: <http://www.revistauniversidad.uson.mx/revistas/20-20articulo%206.pdf> (consultado el 25 agosto, 2013)
- Popova, Y.A. (2000). *Sediment-phosphorus chemistry in Ozark Plateau streams of northeast Oklahoma*. Tesis de Maestría, Oklahoma State University, Stillwater, Okla.
- Silva-Mendizabal, R.S. (2010). *Cuantificación de nutrientes que ingresan al Sistema Lagunar del Tobari en el Sur de Sonora a través de drenes agrícolas del Valle del Yaqui en el periodo 2008-2009*. Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Guaymas, Guaymas, México.
- Wan, M.T., Kuo, J., McPherson, B. & Pasternak, J. (2006). Agricultural Pesticide Residues in Farm Ditches of the Lower Fraser Valley, British Columbia, Canadá. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 41, 647-669.
- Water on the web (2009). Understanding water quality parameters. Dissolved Oxygen: Why is it important?. Disponible en línea en: <http://www.waterontheweb.org/under/waterquality/oxygen.html> (consultado el 25 de agosto, 2013)